Short Communication

Virtuaal- ja liitreaalsuse narratiiv metsasektoris

Laura Peedosaar*, Eneli Pöldveer, Joonas Kollo ja Ahto Kangur

Peedosaar, L., Pöldveer, E., Kollo, J., Kangur, A. 2019. A narrative of virtual and augmented reality in the forest sector. – Forestry Studies | Metsanduslikud Uurimused 70, 88–96, ISSN 1406-9954. Journal homepage: <http://mi.emu.ee/forestry.studies>

Abstract. With the rapid development in data acquisition and presentation, there is a growing interest in virtual forests and computer visualization tools. Forest owners have become more aware about their property and are interested in applying different forest management methods and silvicultural techniques. The tools are also applicable in assessment of the changes to the landscape as a result of natural and anthropogenic disturbances. Virtual reality offers a good opportunity to test and compare different management options before implementing decisions which can lead to irreversible consequences. Advances in spatial and temporal data collection enable new and practical solutions for analysis and visualization of long-term natural processes with new forestry applications. In the near future, forest owners and managers will have the possibility to make management decisions without the direct need to exit the office. Furthermore, the learning process is more enthralling and also more profound through augmented reality, helping to foster better working practices even before starting a job in the forest sector.

Key words: computer simulations, virtual environment, data visualization, forestry.

Authors' addresses: Chair of Forest Management Planning and Wood Processing Technologies, Institute of Forestry and Rural Engineering, Estonian University of Life Sciences, Kreutzwaldi 5, 51006 Tartu, Estonia; *e-mail: laura.peedosaar@student.emu.ee

Virtuaal- ja liitreaalsus

Virtuaalreaalsete keskkondade arendamisega on tegeletud maailmas ligikaudu viimased 50 aastat. Ameerika arvutiinsener Myron Krueger lõi 1975. aastal esimese virtuaalreaalsuse, mis lubas kasutajatel manipuleerida virtuaalobjektidega reaalses (Bhardwaj *et al.*, 2016). Sellest ajast peale pakutakse virtuaal- ja liitreaalsuste lahendustega väga palju erinevaid rakendusvõimalusi, mille kasutamist toetab omakorda tehnoloogia kiire areng erinevates valdkondades (Dangelmaier *et al.*, 2005).

Metsasektoris on üldise tehnoloogilise arengu taustal võimalik järjest enam kasutada uusi matemaatilisi meetodeid ning nõudlikke riist- ja tarkvaralahendusi. Üks osa uutest tehnoloogiatest toetab suuremahulist andmehõivet automaatselt, samas peab inimene valideerima (visuaalselt) arvuti tehtud suurte andmehulkade analüüsi tulemusi.

Virtuaalreaalsust defineeritakse kui kolmemõõtmelist (3D) kujutist või arvutisimulatsiooni, kus virtuaalkeskkonnas luuakse arvuti abil lõppkasutaja jaoks kas reaalse maailma elementidega või nende

DOI: 10.2478/fsmu-2019-0008

© 2019 by the authors. Licensee Estonian University of Life Sciences, Tartu, Estonia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives (CC BY-NC-ND) 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Joonis 1. Harvesterioperaatorite koolitusprotsess Luua Metsanduskooli õppesimulaatoril, kasutades virtuaalreaalsuse seadmeid.

alusel simuleeritud objektidega kujutletav maailm (Dong & Gu, 2014). Liitreaalsuse all mõistetakse olukorda, kus combineeritakse vahetult virtuaalkeskkonna elemente reaalse maailmaga (Alla, 2013). Virtuaalreaalses keskkonnas ei näe kasutaja teda ümbritsevat pärismaailma, kuid liitreaalsuse kasutajale kuvatakse reaalne maailm koos virtuaalsete objektidega nii, et kasutajal tekib tunne, et virtuaalsed ja reaalsed objektid eksisteerivad samal ajal samas ruumis (Azuma, 1997). Virtuaalreaalsus, kasutades näiteks seadet Oculus Rift, võimaldab viia ühe kasutaja ning uuemad CAVE-tüüpi seadmed ka mitu kasutajat korraga (Fabrika *et al.*, 2019) tõelisest maailmast kujuteldavasse keskkonda (Joonis 1), näiteks lõppkasutaja poolt soovitatavasse või siis juhuslikku kohta virtuaalses metsas.

Metsa visualiseerimisel on oluline roll metsa struktuuri kirjeldamisel ja modelleerimisel (Fabrika *et al.*, 2019). Virtuaalreaal-

sus on tänapäevaste tehnoloogiate hulgas kontrollitult toimiv lahendus, mis võimaldab lõppkasutajale esitada ja kergemini mõistetavaks teha mahukaid metsakorralduslikke andmeid. Seeläbi saab metsaomanik või majandaja hinnata, millisena vajalikus metsaosas oma tegevusi planeerida, et metsa hilisem seisund vastaks tema ootustele (Kauppi, 2016). Metsakasvatustlike võtete visualiseerimine võimaldab enne metsamajanduslike tegevuste läbiviimist hinnata, kuidas mõjutavad teatud võtted metsa struktuuri ja selle muutumist ajas. Lõppkasutaja jaoks saab erinevate võtete visualiseerimisega lihtsustada otsustusprotsessi ning selgitada, milliste raievõtetega soovitatavat puistut/maastikku on võimalik kujundada (Joonis 2). Samuti aitab virtuaalreaalsus edendada kaasavat metsakorraldust (Korjus *et al.*, 2017), aidates huvigruppidele selgitada oma ideid metsade majandamisel (Joonis 3).

Joonis 2. Puistut saab kujundada erisuguseks – esimesel joonisel (ülemised pildid kujutavad puistut pealtvaates ja alumised külgsuunas) on võrdlemiseks tihedat puistut, kus kogu ala ulatuses on säilinud järelkasv ning puude paiknemine puistus on ebaregulaarne, teisel joonisel on kujutatud puistut, kus on metsamajandustegevuse käigus säilitatud järelkasv gruppideks, samas on puistu oluliselt hõredam ning puude paiknemine korrapärasem kui esimesel joonisel. Joonis koostatud programmiga SVS (versioon 3.36) (SVS, 2019).

Virtuaal- ja liitreaalsuse rakendamine metsanduses on oluline eelkõige õppimise ja kavandamise seisukohalt, kuid ka tööde tegemise protsessis, kus võimalusel tõlgendatakse operatiivse kavandamise tulemusel tarkvaraliselt automaatsete otsustena masinatele ja seadmetele täitmiseks. Metsanduses aitab virtuaalreaalsuse kasutamine: 1) erineva taustaga inimestel tõlgendada ja mõista metsakorralduslikke andmeid sarnaselt; 2) näha metsamajanduslike otsuste tagajärgi ilma vajaduseta looduses, reaalset pöördumatuid metsamajandusvõtteid rakendamata; 3) visualiseerida huvipakkuva objektiga ajas toimuvaid muutusi; 4) mõista paremini maastiku

tasemel toimuvaid muutusi (Uusitalo & Orland, 2001).

Virtuaalne mets

Metsaökosüsteemi iseloomustab pidev muutumine ajas ja ruumis. Virtuaalreaalse metsa tekitamiseks (detailseks ruumiliseks kirjeldamiseks) on vaja taasesitada puistut erinevaid arenguetappe ja kasvukohati ning piisavat algandmestikku, et luua metsa kasvu muutumist ajas kirjeldada võimaldavaid mudeleid. Virtuaalse metsa kujutamisel tänapäeval olemasolevates metsanduslikes tarkvarakeskkondades

Joonis 3. Erineva raiekraadiga (0%, 25%, 50% ja 100%) raiete visualiseerimine maastikul. Joonis koostatud programmiga SVS (versioon 3.36) (SVS (Robert J. McGaughey), 2019).

on kasutuses peamiselt kaks lähenemist: üksikpuu põhine lahendus ja puistu tasemel lähenemine (Fabrika, 2003; Bravo *et al.*, 2019). Mõlema lahenduse juures on võimalik leida lihtsaid kujutamisi, kus puud on kujutatud mõne kergesti mõõdetava tunnuse põhjal (nt puu läbimõõt, puu kõrgus ja puuliik), mis on kasutusel ka olemasolevates üksikpuu tasemel kasvumudelites ning kus kujutised on ka lihtsad (nt puutüvi on silindri- või koonusekujuline) (Fabrika, 2003; Kiviste *et al.*, 2015). Samuti on võimalik leida oluliselt keerukamaid lahendusi, mis sisendandmetena eeldavad üksikpuu või puistu detailset kirjeldust (näiteks peale tavaliste takseertunnuste ka erinevate liikide morfoloogiliste tunnuste kirjeldusi, puude võra ja juurestiku kirjeldamist või puudevahelise struktuuri-elementide seoste kirjeldamist) (Pretzsch, 2009; Bravo *et al.*, 2019).

Virtuaalne mets on mudelite kompleks, kus iga kasutatav mudel/lähend on lihtsustus reaalsusest. Metsaökosüsteemi kirjeldamise aluseks on selle struktuur (Pretzsch, 2009), siinjuures on oluline,

et erinevad puud puistus paiknevad ja kasvavad erinevalt ning seda varieeruvust suudavad ka kasutatavad mudelid kirjeldada (Eastaugh *et al.*, 2013). Puistu tasemel (ka puistuelementide põhised) andmed pole aga piisavad puistu struktuuri detailsemaks kirjeldamiseks, abiks on siinkohal üksikpuude tasemel koostatud puistu struktuuri kirjeldavad indeksid. Struktuuriindeksid võimaldavad mõista ja taasesitada erinevaid seisundeid, nagu erinevate puuliikide ruumiline paiknemine (seguindeksid), erineva tervisliku seisundiga puude paiknemine (nt dominantsuse indeksid) ja erinevate dimensioonidega puude puistus üksteise suhtes paiknemine (nt vastastikmõju indeksid), ning protsesse nagu puude väljalangemine ja puuliikide asendumine (nt väljalangevuse indeksid) (Gadow, 1993; Gadow, 1999; Gadow & Hui, 2002; Laarmann *et al.*, 2009). Sellised indeksid leiavad lisaks traditsioonilistele takseertunnustele aina sagedasemat kasutust (Maleki & Kiviste, 2015) nii lihtsamate mudelite kui ka keerukate mudelikomplektide juures.

Lisaks manuaalsele andmekogumisele kasutatakse järjest enam automaatset (suuremahulist ruumilist andmekogu või siis ajas kõrge korduste sagedusega) andmekogumist, mida võimaldab eelkõige erinevate kaugloetavate sensorite kasutuselevõtt ja kiire andmetöötlussuutlikkus. Metsaökosüsteemi aluseks ning tihti peamiseks huvipakkuvaks komponendiks on puud, sellest tulenevalt on automaatse andmekogumise käigus oluline koguda andmeid nii puude kasvutingimuste, puude kasvu kui ka puude ja ökosüsteemi vahetusprotsesside ja vastasmõjude kohta. Näiteks saab süsihappegaasi ja lämmastikühendite voogude põhjal konstrueerida metsa kasvumudeleid (Köster *et al.*, 2008; Hari *et al.*, 2013), selleks on vaja mõõta atmosfääri ja puistu erinevate osade vahelisi ainevoogusid. Eestis on üks selline kompleksse mõõtmise koht näiteks SMEAR Eesti mõõtejaam, mis pakub suure mõõtesagedusega pidevalt mõõdetavaid kliima- ja atmosfääriomaduste andmeid (Noe *et al.*, 2015). Peale selle kogutakse jaamas metsaökosüsteemi kirjeldavaid tunnuseid, nagu metsa tootlikkus, puu individuaalne kasv, gaasivahetuse omadused ja mullas toimuvad muutused (Noe *et al.*, 2015). Sellise mahuka andmestiku kasutamise edukas näide on MicroForest'i mudel, kus nn virtuaalne mets ja selle kasvamine luuakse ühe puu aastaste kasvude summeerimisel puistu tasemele ning mille rakendamiseks on kasutuses üle 50 erineva sisendtunnuse (Hari *et al.*, 2008; Hari *et al.*, 2013). Kesk-konnainfo kogumise teiseks näiteks on automaatsed ilmajaamad, mis võimaldavad koguda pidevat andmevoogu õhutemperatuuri, sademete jm kohta. Iseküsimus on meie suutlikkus hakata selliseid mahukaid andmestikke kasutama efektiivselt reaalajas ja rakendama tulemusi praktikas.

Virtuaalreaalsuse kasutamisel on kindel eelis visualiseerida nii puistu kui ka maastiku tasemel toimuvaid muutusi, mida metsa kasvuprotsess ja metsamajanduslikud võtted paratamatult mõjutavad. Samas arendatakse pidevalt tehnoloogiaid ja

meetodeid, millel on suutlikkus teha metsa mõõtmisi 3D-ruumis, kasutades eelkõige nii lennukil või droonil paiknevaid kui ka maapealseid lidareid ja kaameraid (Joonis 4). Samuti arendatakse virtuaal- ja liitreaalsuse tarkvaralisi rakendusi ning erinevateks kasutusvõimalusteks mobiilseadmete programme. Puistu takseertunnuste (rinna pindala, kõrgus, läbimõõt) ja puidu mahu (virnatäius) mõõtmisel (Konsap, 2019) on liitreaalsus juba kasutusel mitmes mobiilirakenduses ja mõõtesüsteemis.

Olulisemad virtuaalreaalsusega seotud märksõnad on andmete kasutamise/esitamise universaalsus ja järjepidevus – nii virtuaal- kui ka liitreaalsus peaksid võimaldama jooksvalt uuenevate aktualiseeritud andmete kasutuselevõttu muutuva andmevoona ning seda ka minevikus kogutud andmete kontekstis. Kuidas aga esitada usutavalt ja mõistetavalt 20 aasta taguseid andmeid ja värsket andmevoogu üheskoos ühisel tarkvaraplatvormil, et paremini mõista konkreetse metsaökosüsteemi dünaamikat, on omaette küsimus. Suutlikkus teisendada, kohendada ja süsteemselt lugeda/analüüsida vanu andmestikke ja uute metoodikatega kogutavat andmestikke eeldab hästi läbimõeldud andmetöötlusrakendusi ning iseõppivaid tarkvaralahendusi (Bravo *et al.*, 2019).

Virtuaal- ja liitreaalsuse rakendamine praktikas

Suuremahulise tootmisega seotud ettevõtted liiguvad samm-sammult tootmiskorralduse digiteerimise ja iseõppivate/tarkade lahenduste kasutamise suunas (Erol *et al.*, 2016). Eesmärk on standardse tootmis tsükli tööde korraldamisel ja tööde kavandamise arendamisel järjest rohkem kasutada tehisintellektil põhinevaid lahendusi, mis suudavad tänu iseõppivale süsteemile leida optimaalseid ning kasumlikemaid viise tootmisprotsessi läbiviimiseks (Baesler *et al.*, 2002). Võimalusi ühendamaks virtuaalset ja reaalsel keskkonda eesmärgi-

Joonis 4. Droonifoto metsamajanduslike tegevuste (nt valgustus-, harvendusraiete) kavandamise ja hindamise jaoks (Autor: Oliver Koitmaa).

ga tootmisprotsesse veelgi efektiivsemaks muuta ning lisandväärtust luua on tänapäeval olemas. Kaasaegsed 360° kaamerad võimaldavad viia reaalsed tööprotsessid töökohalt virtuaalkeskonda ja vajadusel 3D-printimistehnoloogiat kasutades tuua virtuaalmaailma objekte reaalsesse maailma. Virtuaalreaalsuse sidumine efektiivsete sidelahenduste, iseõppivate süsteemide ja tehisintellektiga aitaks vähendada metsasektori ettevõtete inimtööjõuga seotud riske ja kulusid. Lisaks võimaldab liitreaalsuse kasutamine tootmisettevõtetes paremini rakendada töötajate individuaalset väljaõpet (Sorko & Brunnhofer, 2019), millega omakorda väheneb kolleegide või mentori ajakulu standardtegevuste õpetamisel uue töötaja väljakoolitamisel.

Kombineeritud kontakt- ja kaugseiremeetodite kasutuselevõtt ning mehitamata seadmete rakendamine traditsiooniliste välitööde toeks ja asemel muudab järk-järgult metsade inventeerimise ja majanda-

mise kulgu, saadavate andmete kvaliteeti, ajalist ja ruumilist eraldusvõimet ning lõpuks ka tööde hinda (Metsä Group, 2018). Metsamasinates saab liitreaalsust kasutada masinate poolautomaatsel töötamisel (Pälonen *et al.*, 2017), kus masina operaator sekkub tööprotsessi vaid vajadusel korrigeerimaks arvuti tehtud otsuseid. On vaid aja küsimus, millal Eestis sellist meetodit aktiivselt kasutama hakatakse. Näiteks kasutab juba praegu Riigimetsa Majandamise Keskus IT-lahendust, mis aitab harvesterijuhil näha raielangi piire oma harvesteri kabiinis ekraanil, mistõttu puudub otsene vajadus raielangi piire looduses tähistada (Viiron, 2013). Samuti on uuendusmeelsed lätlased, sest AS "Latvijas Valsts Meži" lõi koostöös Ocean Multimedia virtuaalreaalsuse stuudioga Roja loodusrajale virtuaalsed vaatetornid (LVM, 2019). Loodud seitse vaatetorni on Lätis üks esimesi taoliseid liitreaalsuse projekte, mis annab väärtuslikku teavet metsade kohta ning võimal-

dab huvilistel kõrgustest nautida vaateid puude latvadele (LVM, 2019).

Virtuaalreaalsus on jõudnud ka met-sanduslikku koolitus- ja õppetöösse. Näi-teks on Soomes kasutusel traditsioonili-si õppemeetodeid toetav virtuaalmetsa tarkvara, kus virtuaalkeskkonnas ringi liikudes tutvuvad õpilased metsaga, selle elanike ja ülesehitusega ning saavad se-dasi õppida, kuidas mets kui ökosüsteem toimib (Jussila, 2013). Põhikoolilastele suu-natud veebipõhise õpikeskkonna eesmärk on täiendada õppijate teadmisi ja arendada mõtlemisioskust ning äratada huvi kes-konna, eriti metsade vastu. Nii Soomes kui ka mujal on väga levinud virtuaalreaalsust kasutavad metsatehnika koolisimulaato-rid. Eestis on selline simulaator kasutu-ses Luua Metsanduskoolis, kus õppetööd tehakse paralleelselt virtuaalkeskkonnas (põhifunktsioonide õpe) (Joonis 1) ja met-sas (praktiline õpe). Õppeklassi eeliseks on võimalus mängida läbi standardolukordi ja seda erinevate masinatüüpidega, et ta-gada ettevalmistus tulevaseks praktikaks päris seadmetega.

Tänapäeval ei ole siiski põhjust arvata, et virtuaalreaalsus „vallutab“ metsasekto-ri ja metsade majandamise üleöö ja seda vaatamata uute tarkvaratehnoloogiate kät-tesaadavusele ja riistvara arvutusvõime-kuse suurenemisele. Üks peamine takistus on metsa kirjeldava visualiseeritava info vähesus (eelkõige lokaalsus), aga samuti puudub olemasolevaid andmeid töödelda suutev digitaalne platvorm virtuaalmetsa kuvamiseks. Samuti on töömahukas ja ku-lukas erinevate andmeformaaside, -allikate ning mudelite integreerimine lõppkasuta-jale ühtseks kasutavaks virtuaalreaalsuse võimalustega tarkvaralahenduseks. Samas on aga selge, et virtuaal- ja liitreaalsuse ra-kendamise vajadus hakkab tulevikus üha rohkem mõjutama metsade inventeerimist ja andmehõivet ning suunama valdkonna-siseseid teadusuuringuid.

Tänuõnad. Käesolev lühiartikkel on kir-jutatud konverentsi „Forest management

for the future in Nordic and Baltic forests – long-term experiments answering to to-day’s questions, international conference, 11.–13.06.2019 Vierumäki, Finland“ käi-gus tekkinud mõtete ja diskussioonide põhjal ning valmis Eesti Maaülikooli met-sandusdoktorantide koostöös. Täname Oliver Koitmaad droonifotode, Luua Met-sanduskooli metsamasinate simulaatori õppeklassi tutvustamise ning Eesti Maa-ülikooli metsakorralduse ja metsatööstu-se õppetooli töötajaid kasulike nõuannete ning valdkonnaspetsiifiliste kommentaari-de eest.

Kasutatud kirjandus

- Alla, R. 2013. ESTGIS Annual Conference 2013: Augmented Reality and GIS. (ESTGIS-i aastakonverents 2013: Rikastatud reaalsus ja GIS). [WWW document]. – URL https://www.estgis.ee/wpcontent/uploads/2013/10/estgis_rr_OK.pdf. [Accessed 5 January 2019].
- Azuma, R. 1997. A survey of augmented reality. – *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 6(4), 355–385.
- Baesler, F.F., Moraga, M., Ramis, F.J. 2002. Productivity improvement in the wood industry using simulation and artificial intelligence. – *Proceedings of the Winter Simulation Conference*. 1095–1098.
- Bhardwaj, A., Bhardwaj, M., Gaur, A. 2016. Virtual reality: an overview. – *International Journal of Scientific and Technical Advancements*, 2, 159–164.
- Bravo, F., Fabrika, M., Ammer, C., Barreiro, S., Bielak, K., Coll, L., Fonseca, T., Kangur, A., Löf, M., Merganičová, K., Pach, M., Pretzsch, H., Stojanović, D., Schuler, L., Peric, S., Rötzer, T., Del Río, M., Dodan, M., Bravo-Oviedo, A. 2019. Modelling approaches for mixed forests dynamics prognosis. Research gaps and opportunities. – *Forest Systems*, 28(1), eR002.10.5424/fs/2019281-14342.
- Dangelmaier, W., Fischer, M., Gausemeier, J., Grafe, M., Matysczok, C., Mueck, B. 2005. Virtual and augmented reality support for discrete manufacturing system simulation. – *Computers in Industry*, 56(4), 371–383.
- Dong, W., Gu, W.J. 2014. Application of virtual reality in forestry. – *Advanced Materials Research*, 989–994, 4229–4232.
- Eastaugh, C.S., Kangur, A., Korjus, H., Kiviste, A., Zlatanov, T., Velichkov, I., Srdjevic, B., Srdjevic, Z., Hasenauer, H. 2013. Scaling issues and constraints in modelling of forest ecosystems: a review with special focus on user needs. – *Baltic Forestry*, 19(2), 316–330.

- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., Sihn, W. 2016. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. – *Procedia CIRP*, 54, 13–18.
- Fabrika, M. 2003. Virtual forest stand as a component of sophisticated forestry educational systems. – *Journal of Forest Science*, 49 (9), 419–428.
- Fabrika, M., Valent, P., Merganičová, K. 2019. Forest modelling and visualisation – State of the art and perspectives. – *Central European Forestry Journal*. (In press).
- Gadow, K.v. 1993. New variables for describing stands of trees. (Zur bestandesbeschreibung in der forsteinrichtung). – *Forst und Holz*, 48(21), 602–606. (In German).
- Gadow, K.v. 1999. Forest structure and diversity. (Waldstruktur und diversität). – *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*, 170(7), 117–122. (In German).
- Gadow, K.v., Hui, G. 2002. Characterising forest spatial structure and diversity. – Björk, L. (ed.). – *Proceedings of the SUFOR International workshop "Sustainable forestry in temperate regions"*, Sweden, Apr. 2002. Lund, 20–30.
- Hari, P., Havimo, M., Kabiri Koupaie, K., Jõgiste, K., Kangur, A., Salkinoja-Salonen, M., Aakala, T., Aalto, J., Schiestl-Aalto, P., Liski, J., Nikinmaa, E. 2013. Dynamics of carbon and nitrogen fluxes and pools in forest ecosystem. – Hari, P., Heliövaara, K., Kulmala, L. (eds.). *Physical and Physiological Forest Ecology*. Springer, 349–396.
- Hari, P., Salkinoja-Salonen, M.S., Liski, J., Simojoki, A., Kolari, P., Pumpanen, J., Kähkönen, M., Aakala, T., Havimo, M., Kivekäs, R., Nikinmaa, E. 2008. Growth and development of forest ecosystems: the MicroForest model. – Hari, P., Kulmala, L. (eds.). *Boreal Forest and Climate Change*. Dordrecht, Springer, 433–461.
- Jussila, T. 2013. Metsässä omalla koneella. Metsäaiheisen opiskeluympäristön luominen verkkoon. Master's thesis, University of Helsinki. [WWW document]. – URL <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/38206>. [Accessed 14 August 2019]. (In Finnish).
- Kauppi, A. 2016. Virtual reality to boost forest management. [WWW document]. – URL <https://forest.fi/article/virtual-reality-to-boost-forest-management/>. [Accessed 14 December 2018].
- Kiviste, A., Hordo, M., Kangur, A., Kardakov, A., Laarmann, D., Lilleleht, A., Metslaid, S., Sims, A., Korjus, H. 2015. Monitoring and modeling of forest ecosystems: The Estonian Network of Forest Research Plots. – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 62, 26–38.
- Konsap, K. 2019. Smart device applications for measuring forest. (Nutiseadme rakendused metsa mõõtmiseks). Bachelor's thesis, Estonian University of Life Sciences. 28 pp. (In Estonian with English summary).
- Korjus, H., Põllumäe, P., Kiviste, A., Kangur, A., Laarmann, D., Sirgmet, R., Lang, M. 2017. Online streaming public participation in forest management planning. – *Metsanduslikud uurimused / Forestry studies*, 66, 5–13.
- Köster, K., Kangur, A., Hari, P., Jõgiste, K. 2008. Test in Estonia at the southern border of the boreal zone. – Hari, P.; Kulmala, L. (ed.). *Boreal Forest and Climate Change*. Dordrecht, Springer, 468–472.
- Laarmann, D., Korjus, H., Sims, A., Stanturf, J.A., Kiviste, A., Köster, K. 2009. Analysis of forest naturalness and tree mortality patterns in Estonia. – *Forest Ecology and Management*, 258, 187–195.
- LVM. 2019. Explore forestry from nature's virtual observation towers. [WWW document]. – URL <https://www.lvm.lv/en/news/4551-explore-forestry-from-nature-s-virtual-observation-towers>. [Accessed 14 August 2019].
- Maleki, K., Kiviste, A. 2015. Effect of sample plot size and shape on estimates of structural indices: A case study in mature silver birch (*Betula pendula* Roth) dominating stand in Järvselja. – *Forestry Studies / Metsanduslikud Uurimused*, 63, 130–150.
- Metsä Group. 2018. Virtual forests are coming. [WWW document]. – URL <https://www.metsagroup.com/en/Campaigns/IntelligentMetsa/intelligentforest/Virtual-forests-are-coming/Pages/default.aspx>. [Accessed 15 January 2019].
- Noe, S.M., Niinemets, Ü., Krasnova, A., Krasnov, D., Motallebi, A., Kängsepp, V., Jõgiste, K., Hörrak, U., Komsaare, K., Mirme, S., Vana, M., Tammet, H., Bäck, J., Vesala, T., Kulmala, M., Petäjä, T., Kangur, A. 2015. SMEAR Estonia: Perspectives of a large-scale forest ecosystem – atmosphere research infrastructure. – *Metsanduslikud Uurimused / Forestry Studies*, 63, 56–84.
- Palonen, T., Hyyti, H., Visala, A. 2017. Augmented reality in forest machine cabin. – *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 5410–5417.
- Pretzsch, H. 2009. *Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model*. Berlin and Heidelberg, Springer. 664 pp.
- Sorko, S.R., Brunnhofer, M. 2019. Potentials of augmented reality in training. – *Procedia Manufacturing*, 31, 85–90.
- SVS. 2019. The Stand Visualization System (SVS). [WWW document]. – URL <http://forsys.cfr.washington.edu/SVS/Stand%20Visualization%20System.html>. [Accessed 15 May 2019].
- Uusitalo, J., Orland, B. 2001. Virtual forest management: possibilities and challenges. – *International Journal of Forest Engineering*, 12(2), 57–66.
- Viiron, K. 2013. Forestry sees the emergence of information technology solutions. (Metsandusse on lisandunud infotehnoloogilisi lahendusi). – *Eesti Mets*, 4, 38–41. (In Estonian)

A narrative of virtual and augmented reality in the forest sector

Laura Peedosaar, Eneli Põldveer, Joonas Kollo and Ahto Kangur

Summary

Computer engineers have been dealing with virtual reality around the world for the last 50 years. Virtual reality is defined as a three-dimensional (3D) image or computer simulation in which an object from the real or imaginary world is modelled and displayed to a person in a virtual environment. In forestry, virtual reality incorporates practically tested digital solutions available to display and manage large amounts of forest management and inventory data. In the virtual environment it is possible for the forest owner or manager to evaluate how the planned management or silvicultural treatments would also visually meet their expectations. Virtual reality also presents an opportunity to promote inclusive forest management by helping stakeholders visually explain their ideas on forest management. Using virtual reality to visualize modelled/possible outcomes of different forest management options allows for comparative analysis of the effects of silvicultural treatments on the forest structure and its dynamics prior to implementation of chosen management

activities and seeing whether the result of these activities is desired and corresponds to the needs/demands of the forest owner. The use of virtual reality helps to: 1) visualize and present forest management data to end users and the public; 2) assess the results of various forest management options before carrying out the activities in practice; 3) envision the long-term effect of forest growth and both natural and anthropogenic disturbances; 4) present and understand changes occurring at landscape level. The introduction of new methods and the use of unmanned equipment instead of traditional field work has already changed the course of forest inventory and data acquisition and the quality of the data received. However, there is no reason to believe that virtual reality will “conquer” the forest sector and forest management overnight, but it is nevertheless obvious that the implementation of virtual and augmented reality already influences forest field inventories and data collection and will also affect research in the forest sector.

Received August 5, 2019, revised August 9, 2019, accepted September 13, 2019